

Leveling sensor for e.g. aligning laser device has acceleration measurement unit enclosed along with acceleration sensor via common frame

Patent Number: DE10005562
Publication date: 2001-09-06
Inventor(s): LAERMER FRANZ (DE); NEUMANN JUERGEN (DE); FREY WILHELM (US)
Applicant(s): BOSCH GMBH ROBERT (DE)
Requested Patent: ☐ DE10005562
Application Number: DE20001005562 20000209
Priority Number(s): DE20001005562 20000209
IPC Classification: G01C5/00; G01C19/56; B81B3/00
EC Classification: B81B3/00M2, G01C5/00, G01C19/56A
Equivalents:

Abstract

An acceleration sensor is arranged on a carrier (4) which is oscillatable along a specific axis. An acceleration measurement unit (6) is arranged such that it is enclosed along with the sensor, by a common frame. Control electrodes (23) vibrate the carrier.

Data supplied from the esp@cenet database - 12



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 05 562 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 01 C 5/00
G 01 C 19/56
B 81 B 3/00

⑳ Aktenzeichen: 100 05 562.1
㉔ Anmeldetag: 9. 2. 2000
㉕ Offenlegungstag: 6. 9. 2001

DE 100 05 562 A 1

㉑ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:
Frey, Wilhelm, Dr., Palo Alto, Calif., US; Laermer,
Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE; Neumann, Juergen,
86850 Fischach, DE

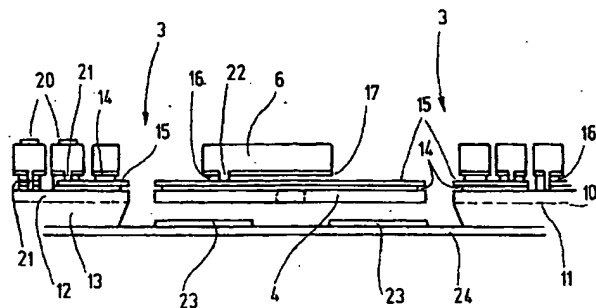
⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 196 23 072 A1
DE 195 30 510 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Nivellierungssensor

⑤7 Ein Nivellierungssensor umfaßt einen Beschleunigungssensor (6) zum Erfassen der Erdbeschleunigung in einer als Sensierrichtung bezeichneten Richtung und einen Träger (4), an dem der Beschleunigungssensor (6) angeordnet ist und der um wenigstens eine Achse schwenkbar ist. Der Nivellierungssensor weist einen Rahmen (2) auf, relativ zu dem Träger (4), um die die Achse schwingfähig ist und an dem Mittel (23) zum Antreiben der Schwingbewegung des Trägers angeordnet sind.



DE 100 05 562 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft einen Nivellierungssensor, der einen Beschleunigungssensor zum Erfassen einer Beschleunigung in einer als Sensierrichtung bezeichneten Richtung und einen Träger umfaßt, an dem der Beschleunigungssensor angeordnet ist und der um wenigstens eine Achse schwenkbar ist.

Derartige Nivellierungssensoren sind zum Beispiel im Handwerk anstelle herkömmlicher Wasserwaagen einsetzbar. Sie sind auch gut zum Einsatz in Vermessungssystemen und dergleichen geeignet, wo sie die vollautomatische, exakt horizontale Ausrichtung eines Geräts wie etwa eines Peillasers ermöglichen.

Ein solcher Nivellierungssensor ist in der nicht vorveröffentlichten Anmeldung mit dem amtlichen Aktenzeichen DE 198 38 465.3 behandelt.

Der in diesem Dokument beschriebene Nivellierungssensor umfaßt zwei Piezoaktuatoren, die, mit sinusförmigen Wechselspannungen beaufschlagt, den Beschleunigungssensor um zwei zueinander senkrechte Drehachsen in einer oszillierenden Bewegung antreiben. Wenn die Erdbeschleunigung auf der durch die beiden Drehachsen definierten Ebene senkrecht steht, wirken sich die von den Piezoaktuatoren ausgeübten Beschleunigungen nicht direkt auf das von dem Beschleunigungssensor gelieferte Erfassungssignal der Erdbeschleunigung aus. Wenn hingegen die Ebene auf der Richtung der Gravitation nicht senkrecht steht, wird eine Beschleunigung erfaßt, der ein mit der Antriebsfrequenz der Piezoaktuatoren oszillierender Spektralanteil überlagert ist. Am Vorhandensein dieses Spektralanteils kann eine Auswerteschaltung erkennen, daß der Nivellierungssensor nicht exakt senkrecht zur Richtung der Erdbeschleunigung ausgerichtet ist.

Dieser vorbeschriebene Nivellierungssensor ist recht aufwendig in der Konstruktion, da er aus einer Vielzahl diskreter Bauelemente, wie etwa der Aktuatoren und dem Beschleunigungssensor zusammengebaut wird, eine Führung des Beschleunigungssensors in der Ebene erfordert, und Kontakte zum Abführen des Meßsignals von dem beweglichen Sensor montiert werden müssen. Unter anderem aus diesen Gründen eignet er sich nicht gut für eine Miniaturisierung.

Aus DE 196 23 072 A1 ist ein Halbleitersensor mit einer schwebenden Dünnschichtstruktur bekannt, der zur Messung einer Beschleunigung geeignet ist. Insbesondere ist dort vorgesehen, ein bewegliches Bauteil mit einem polykristallinen Siliziumfilm auf einem Siliziumsubstrat anzuordnen, wobei das bewegliche Bauteil mit Trägerabschnitten, einem beweglichen Elektrodenabschnitt und einem Gewichtsabschnitt versehen ist. Weiter ist vorgesehen, das bewegliche Bauteil durch Verankerungsabschnitte am Substrat zu befestigen.

Aus DE 195 30 510 A1 ist ein ähnlich aufgebauter Halbleitersensor mit einer aufgehängten bzw. beweglich gehaltenen Mikrostruktur bekannt. Dabei ist vorgesehen, daß der Halbleitersensor als MES-FET-Typ-Halbleitersensor ausgebildet ist, wobei Siliziumoxidschichten und eine Siliziumnitridschicht auf einer oberen Oberfläche eines p-Typ-Siliziumsubstrates gebildet, und ein bewegliches Teil oberhalb der Siliziumnitridschicht mit einem vorbestimmten, dazwischen befindlichen Abstand angeordnet ist. Weiter ist dort vorgesehen, ein bewegliches Gate-Elektrodenstück auf einem Teil des beweglichen Teils anzuordnen, welches durch eine Beschleunigung verschoben wird. Die Funktion des Halbleitersensors beruht dabei wesentlich darauf, daß sich der

Stromfluß zwischen dem beweglichen Gate-Elektrodenstück und einer fest angeordneten Elektrode infolge einer Änderung der relativen Position des beweglichen Gate-Elektrodenstücks, die durch eine Beschleunigung hervorgerufen wird, verändert.

Vorteile der Erfindung

Durch die vorliegende Erfindung wird eine Struktur für einen Nivellierungssensor geschaffen, die einen einfachen und für eine Miniaturisierung geeigneten Aufbau aufweist.

Indem erfindungsgemäß eine schwingfähige Verbindung, insbesondere eine elastische Verbindung zwischen dem Träger des Beschleunigungssensors und dessen Rahmen vorgesehen wird, wird es möglich, den Rahmen und den Träger einstückig mit mikromechanischen Techniken zu fertigen. Da außerdem die elastische Verbindung von Träger und Rahmen eine gewisse Steife impliziert, erübrigt sich eine Führung des Trägers, und es können zum Antreiben der Schwingbewegung des Trägers einfachere Mittel als Piezoaktuatoren verwendet werden.

Vorzugsweise ist der Rahmen gemeinsam mit dem Träger aus einem Halbleitersubstrat gefertigt. Zu diesem Zweck können die aus der Halbleitertechnik bekannten Bearbeitungstechniken wie lithographische Strukturierung, anisotropes Ätzen etc. angewendet werden.

Ein besonders einfaches Mittel zum Antreiben der Schwingbewegung sind dem Träger zugewandte Elektroden, mit deren Hilfe eine elektrostatische Kraft mit wechselndem Vorzeichen auf den Träger ausgeübt werden kann. Diese Elektroden sind vorzugsweise an einer dem Träger gegenüberliegenden Rückwand des Rahmens angeordnet. Alternativ eignen sich auch stromdurchflossene Leiterbahnen in Verbindung mit einem Magnetfeld, wie es von externen Permanentmagneten bereitgestellt werden kann, um die Struktur über die Lorentzkraft zum Schwingen anzutreiben. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz elektrothermischer Aktoren.

Die steife, schwingfähige Verbindung zwischen dem Rahmen und dem Träger ist vorzugsweise durch zwei entlang der Achse verlaufende torsionselastische Arme gebildet.

Diese Arme können vorteilhafterweise Versorgungs- und/oder Signalleitungen des Beschleunigungssensors beziehungsweise tragen, je nachdem, ob die Arme vollständig aus einem leitfähigen Material bestehen oder ob lediglich Leiterbahnen an den Armen, zum Beispiel durch lokale Dotierung oder durch Aufwachsenlassen von leitfähigen Schichten, gebildet sind.

Der Beschleunigungssensor des Nivellierungssensors umfaßt weiter einen Meßkörper, der relativ zum Träger entsprechend dem Ausmaß einer in der Sensierrichtung einwirkenden Beschleunigung verlagerbar ist. Dieser Meßkörper wird auch als seismische Masse bezeichnet. Für die Erfassung der Verlagerung des Meßkörpers relativ zum Träger umfaßt der Beschleunigungssensor zweckmäßigerweise ein Kondensatorelement mit zwei Platten, die jeweils durch eine Oberfläche des Trägers beziehungsweise eine Oberfläche des Meßkörpers gebildet sind. In diesem Fall ist die Sensierrichtung des Beschleunigungssensors vorzugsweise senkrecht zur Ebene des Trägers orientiert.

Um Störungen der Beschleunigungsmessung durch Fliehkrafteffekte zu minimieren, ist vorgesehen, daß die Masse des Meßkörpers beiderseits einer Ebene verteilt ist, die durch die Achse und die Sensierrichtung aufgespannt ist. Vorzugsweise liegt der Schwerpunkt des Meßkörpers in dieser Ebene. Dadurch wird erreicht, daß vorhandene Fliehkkräfte bei entgegengesetzten Bewegungsphasen der Torsions-

schwingung des Trägers sich jeweils in gleicher Weise auf das Meßsignal des Beschleunigungssensors auswirken und sich damit kompensieren.

Um Fliehkraftauswirkungen völlig zu unterdrücken, ist es wünschenswert, daß der Schwerpunkt des Meßkörpers auf der Achse selbst liegt.

Eine unter diesen Gesichtspunkten bevorzugte Ausgestaltung des Nivellierungssensors hat einen Meßkörper, der in einem Fenster des Trägers aufgehängt ist.

Um eine große Kapazität des Beschleunigungssensors zu erreichen, kann es zweckmäßig sein, den Meßkörper und den Träger mit ineinandergreifenden Kammstrukturen auszubilden. In diesem Fall ist die Sensierichtung des Beschleunigungssensors vorzugsweise in der Ebene des Trägers orientiert.

Zur elastischen Halterung des Meßkörpers an dem Träger können elektrisch leitende Federelemente verwendet werden.

Die Schwingbewegung des Trägers des Beschleunigungssensors bewirkt, daß die Sensierichtung des Beschleunigungssensors relativ zu der Richtung der Erdbeschleunigung eine Pendelbewegung ausführt. Folge dieser Pendelbewegung ist, daß der Beschleunigungssensor ein Meßsignal liefert, das neben einem konstanten Anteil auch Anteile enthalten kann, die mit der einfachen oder einem Mehrfachen der Frequenz der Schwingbewegung oszillieren. Der mit der einfachen Schwingfrequenz oszillierende Anteil des Meßsignals verschwindet, wenn der Beschleunigungssensor exakt in Richtung der Erdbeschleunigung, das heißt exakt vertikal, orientiert ist. Daher ist vorzugsweise eine Auswerteschaltung vorgesehen, die das Meßsignal empfängt und die vertikale Orientierung des Nivellierungssensors erkennt, wenn der mit der einfachen Schwingfrequenz oszillierende Anteil im Meßsignal verschwindet.

Zum Verschwinden dieses Anteils kann es auch kommen, wenn die Schwingbewegung infolge einer technischen Störung blockiert ist. Als zusätzliches Kriterium für die senkrechte Orientierung des Nivellierungssensors wertet die Auswerteschaltung daher vorzugsweise auch den mit der doppelten Schwingfrequenz oszillierenden Anteil des Meßsignals aus. Wenn dieser vorhanden beziehungsweise genauer gesagt größer als ein Mindestwert ist, und gleichzeitig der mit der Schwingfrequenz oszillierende Anteil verschwindet, so kann mit großer Sicherheit davon ausgegangen werden, daß der Nivellierungssensor funktioniert und senkrecht zur Erdbeschleunigungsrichtung orientiert ist.

Alternativ ist es auch möglich, dass die Auswerteschaltung das Erreichen eines Maximalwerts des mit doppelter Schwingfrequenz $2f$ oszillierenden Anteils des Meßsignals detektiert. Bei Erreichen eines solchen Maximums des $2f$ -Anteils ist der Beschleunigungssensor exakt in Richtung der Erdbeschleunigung ausgerichtet.

Es ist auch möglich, zu detektieren, wenn der Beschleunigungssensor beziehungsweise sein schwingfähiger Träger exakt senkrecht zum Erdschwerefeld ausgerichtet ist. Wenn die Sensierichtung des Beschleunigungssensors senkrecht zum Erdschwerefeld (Gravitationsvektor) ist, so ist der Anteil des Meßsignals mit der einfachen Schwingfrequenz maximal, während der Anteil mit der doppelten Schwingfrequenz gerade verschwindet.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die beigefügten Figuren.

Figuren

Es zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf einen Nivellierungssensor ge-

maß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung, bei dem die Sensierichtung des Beschleunigungssensors senkrecht zum Träger orientiert ist;

Fig. 2 einen Schnitt entlang der Ebene II-II aus Fig. 1;

Fig. 3 eine Draufsicht auf einen Nivellierungssensor gemäß einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung, bei der die Sensierichtung des Beschleunigungssensors in der Ebene des Trägers liegt; und

Fig. 4 die Entstehung des Meßsignals.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt einen Nivellierungssensor 1 gemäß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung in einer Draufsicht. Der Sensor umfaßt einen Rahmen 2 mit einer zentralen Öffnung 3, in der ein Träger 4, von zwei Armen 5 torsionselastisch gehalten, um eine entlang der Arme 5 verlaufende Achse schwenkbar und elastisch schwingfähig gehalten ist.

Der Träger 5 trägt an seiner Oberseite einen Meßkörper 6, der der zu messenden Beschleunigung sowie, wenn der Träger 4 um die Achse elastisch schwingt, den Beschleunigungen infolge der Schwingbewegung des Trägers ausgesetzt ist.

In der weiteren Beschreibung wird davon ausgegangen, daß die zu erfassende Beschleunigung die Erdbeschleunigung ist.

Fig. 2 zeigt den Nivellierungssensor 1 in einem Schnitt entlang der Ebene II-II aus Fig. 1, die den Schichtaufbau des Nivellierungssensors 1 erkennbar macht und anhand derer auch die Prozeßschritte bei der Herstellung des Nivellierungssensors erläutert werden können.

Bei der Herstellung des Nivellierungssensors 1 wird ausgegangen von einem Siliciumsubstrat 10. Dieses Substrat 10 kann, wie in der Figur angedeutet, aus zwei durch eine Isolationsschicht 11, zum Beispiel eine in der Figur gestrichelt dargestellte Oxidschicht 11 getrennten Lagen 12, 13 bestehen, es kann aber auch in sich homogen sein.

Auf dem Siliciumsubstrat 10 werden abwechselnd Oxid- und leitfähige Siliciumschichten abgeschieden, die verschiedene Ebenen von Leiterbahnen des zu erzeugenden Sensors bilden. Im hier gezeigten Beispiel wird auf der Oberfläche des Substrats 10 zunächst eine thermische Oxidschicht 14 erzeugt und auf dieser eine Polysiliciumschicht 15 abgeschieden, die hier als vergrabene Schicht bezeichnet ist. Die vergrabene Schicht 15 ist durch eine sogenannte Opferoxidschicht 16 von einer Starter-Polysiliciumschicht 17 getrennt, auf der Polysilicium 18 mit einer deutlich größeren Schichtdicke als die vorgenannten Schichtdicken 14 bis 17 epitaktisch abgeschieden ist.

Die Starterschicht 17 und die Polysiliciumschicht 18 sind vorgesehen, um beim fertigen Sensor 1 den Meßkörper 6 sowie am Rahmen 2 Kontaktpads 20 zu bilden. Die isolierenden Oxidschichten 14, 16 werden im Laufe des Aufbaus der Schichtstruktur jeweils geeignet strukturiert, um einen leitfähigen Durchgang von einem Kontaktpad 20 zu einer der leitfähigen Schichten 10 oder 15 zu bilden, wie zum Beispiel anhand der leitenden Verbindungen 21 in der Fig. 2 dargestellt ist.

In einem ersten Ätzschritt wird von der in Fig. 2 oberen Seite des beschichteten Substrats aus die Öffnung 3 in die Schichtstruktur getrieben. Wenn ein Siliciumsubstrat 10 mit innerer Isolationsschicht 11 verwendet wird, kann der Ätzprozeß so gefahren werden, daß er an der Isolationsschicht 11 zum Stehen kommt. Im Falle der Verwendung eines homogenen Siliciumsubstrats 10 kann der Ätzprozeß nach einer bestimmten Zeitdauer, in der er bis in eine gewünschte Tiefe in das Substrat 10 vorgedrungen ist, abgebrochen werden.

Durch Maskieren der in Fig. 2 unten liegenden Rückseite des Substrats durch eine Lackschicht und Ätzen des Substrats in Fenstern der Lackschicht kann das Substrat in den Bereichen, die unterhalb des freizulegenden Trägers 4 liegen, bis zur Isolationsschicht 11, wenn vorhanden, oder bis in eine Tiefe abgetragen werden, in der die Rückseitenätzfront auf die von der Vorderseite her vorgetriebene Öffnung 3 stößt. In letzterem Fall ist der Träger 4 bereits in diesem Stadium des Verfahrens frei schwingfähig, wenn die Isolationsschicht 11 vorhanden ist, muß sie noch beseitigt werden, zum Beispiel durch einen Schritt des Gasphasen-Opferschichtätzens, um den Träger 4 schwingfähig zu machen.

Die Prozeßreihenfolge kann auch umgekehrt werden, das heißt der erste Ätzschritt greift an der Rückseite des Substrats 10 an, und die Strukturen der Vorderseite des Substrats werden anschließend geätzt.

Durch einen entsprechenden Ätzschritt wird die Opferschicht 16 auf einem großen Teil der Fläche zwischen der Starterschicht 17 des Meßkörpers 6 und der diesem gegenüberliegenden vergrabenen Schicht 15 des Trägers 4 beseitigt. Auf diese Weise wird ein Meßkörper 6 erhalten, der durch einen Fuß 22 elastisch verlagerbar mit der vergrabenen Schicht 15 des Trägers verbunden ist.

Die zwei einander gegenüberliegenden Oberflächen des Meßkörpers 6 und des Trägers 4 bilden jeweils Platten eines Kondensatorelements, dessen Kapazität in Abhängigkeit vom Abstand der Platten und somit in Abhängigkeit von der in zur Ebene des Trägers 4 senkrechter Richtung, das heißt in vertikaler Richtung in Fig. 2, auf den Meßkörper 6 wirkenden Beschleunigung veränderlich ist. Die Kapazitätsänderung führt je nach Beschaltung des Kondensatorelements zu einem oszillierenden Stromfluß aus den Platten oder einer Oszillation der an den Platten anliegenden Spannung. Diese Oszillation ist an Kontaktpads 20 des Nivellierungssensors 1 abgreifbar, die jeweils mit dem Meßkörper 6 beziehungsweise dem Träger 4 über die Arme 5, genauer gesagt über die beim Ätzen der Öffnung 3 an den Armen 5 verbliebenen leitfähigen Polysiliciumschichten 15 oder 17, 18 leitend verbunden sind.

Die Sensierrichtung des durch den Träger 4 und den Meßkörper 6 gebildeten Beschleunigungssensors verläuft in der Vertikalen in Fig. 2.

Der Meßkörper 6 erstreckt sich beiderseits einer Ebene, die durch die Sensierrichtung und die zur Ebene der Fig. 2 senkrechte Achse der zwei Arme 5 aufgespannt ist. Er ist so dimensioniert, daß sein Schwerpunkt im wesentlichen in der von der Sensierrichtung und der Torsionsachse der Arme 5 aufgespannten Ebene liegt. Diese Maßnahme hat zur Folge, daß Zentrifugalbeschleunigungen infolge der Schwingbewegung des Trägers 4 auf den Meßkörper 6 nur in der besagten Ebene wirken, aber keine seitlichen Ablenkkräfte, nach links oder nach rechts in Fig. 2, hervorrufen. Der Meßkörper 6 folgt daher der Schwingbewegung des Trägers 4 mit im wesentlichen gleicher Verzögerung, unabhängig vom momentanen Drehsinn der Torsionsschwingung.

Der Antrieb der Torsionsschwingung ist sichergestellt durch zwei Ansteuerelektroden 23, die auf einer Bodenplatte 24 angeordnet sind, die an der Rückseite des Substrats 10 angeordnet, zum Beispiel mit dieser verklebt ist, und so die Öffnung 3 an der Rückseite des Substrats 10 verschließt. Die Ansteuerelektroden 23 sind mit einer nicht dargestellten externen Spannungsquelle verbunden, die sie mit einer Wechselspannung versorgt, deren Frequenz der Torsionsschwingfrequenz der Platte 4 entspricht. Diese Ansteuerelektroden 23 üben jeweils abwechselnd eine anziehende elektrostatische Kraft in jeweils einer Richtung auf die Platte 4 aus, die leitfähig dotiert ist und ihrerseits ein elektrisches Potential trägt.

Als Alternative zu einem solchen elektrostatischen Antrieb der Schwingbewegung kommt auch ein Antrieb durch Lorentzkraft in Frage, das heißt durch die Kraft, die in einem Magnetfeld auf einen stromdurchflossenen Leiter wirkt. Zu diesem Zweck kann eine mit Wechselstrom beaufschlagbare Spule oder Leiterschleife an der Platte 4 angeordnet sein, und ein Permanentmagnet ist ortsfest am Substrat angeordnet, oder umgekehrt. Eine weitere Alternative ist ein elektrothermischer Antrieb durch auf beziehungsweise eingebrachte Heizwiderstände.

Fig. 3 zeigt eine alternative Ausgestaltung des Nivellierungssensors, bei dem der Meßkörper, der bei der Ausgestaltung von Fig. 1 und 2 oberhalb des Trägers angeordnet ist, in einem Fenster des Trägers zu liegen kommt.

Dieser Nivellierungssensor weist wie der aus Fig. 1 einen Rahmen 2 aus einem Siliciumwafer mit einer darin geätzten Öffnung 3 auf, in der ein Träger 4 an zwei Armen 5 so gehalten ist, daß er eine Torsionsschwingung um eine durch die Arme 5 verlaufende Achse ausführen kann. Der Träger 4 trägt einen kapazitiven Beschleunigungssensor, bei dem zwei mit dem Träger 4 fest verbundene, kammförmige leitende Strukturen 30 die Funktion von ersten Kondensatorplatten übernehmen, und ein Meßkörper 6 mit einer Doppelkammstruktur 31 zwischen den einander zugewandten Kammstrukturen 30 so angeordnet ist, daß die Zähne einer der Strukturen 30,31 jeweils in Zahnzwischenräume einer anderen eingreifen. Der Meßkörper 6 ist an vier U-förmigen Biegefedern 32 aufgehängt, die jeweils an Kontaktpads 33 auf dem Träger 4 verankert und dadurch in Richtung des Doppelpfeils 35 elastisch bewegbar sind.

Die Kammstrukturen 30 sind derart ineinander verschränkt, daß die Doppelkammstruktur 31 bei Bewegung in einer der zwei möglichen Richtungen des Doppelpfeils 35 sich von einer Kammstruktur 30 entfernt und der anderen annähert. Die Kapazitäten der zwei durch jeweils eine der Kammstrukturen 30 und die Doppelkammstruktur 31 gebildeten Kondensatoren variieren somit gegenphasig. Jede der Strukturen 30,31 ist mit einer (nicht dargestellten) Auswerteschaltung durch eine Leiterbahn 37 verbunden.

Die Biegefedern 32 können so geformt sein, daß sie den Meßkörper 6 in einem geringen Abstand oberhalb des Trägers 4 halten, der in diesem Fall aus einer geschlossenen Platte bestehen kann. Eine alternative Möglichkeit ist die Aufhängung des Meßkörpers 6 in einem von den Kammstrukturen 30 begrenzten Fenster 36 des Trägers 4, vorzugsweise derart, daß der Schwerpunkt des Meßkörpers 6 exakt auf der Torsionsachse liegt. In letzterem Fall ist eine Beeinflussung des Erfassungssignals des Beschleunigungssensors durch bei der Torsionsschwingung einwirkende Fliehkräfte ausgeschlossen. Ein solches Fenster und die Doppelkammstruktur 31 können auf einfache Weise erzeugt werden, indem das Fenster 36 gleichzeitig mit der Öffnung 3 geätzt wird, anschließend die schwingfähige Aufhängung der Doppelkammstruktur 31 mit den Biegefedern 32 ausgebildet wird und danach durch den bereits mit Bezug auf Fig. 2 erläuterten Rückseitenätzschritt sowie eventuell die Beseitigung einer Isolationsschicht innerhalb des Substrats der Träger 4 und der Meßkörper 6 frei beweglich und schwingfähig gemacht werden. Dieser Sensor ist in der Ebene des Trägers 4, genauer gesagt in Richtung des Doppelpfeils 35 sensitiv.

Typische Abmessungen für den Nivellierungssensor sind zum Beispiel eine Kantenlänge a von ca. 1 bis 5 mm für den Träger 4, eine Länge l der Arme 5 von ca. 400 bis 1000 μm , eine Breite b der Arme 5 von ca. 5 bis 30 μm . Die Frequenz der Torsionsschwingung ist von den Abmessungen abhängig und liegt typischerweise in einem Bereich zwischen 120 Hz und 2 KHz.

Die Auswertung des vom Beschleunigungssensor der

Fig. 2 gelieferten Meßsignals wird anhand von Fig. 4 erläutert.

Teil a von Fig. 4 zeigt die Amplitude d der Torsionsschwingung des Trägers 4 als Funktion der Zeit. Dabei ist als Nullpunkt der Amplitude d die Orientierung des Trägers senkrecht zur Sensierichtung, das heißt die exakt horizontale Orientierung des Trägers gewählt. Die durchgezogene Kurve 40 in Teil a stellt somit eine Torsionsschwingung des exakt horizontal orientierten Nivellierungssensors dar, wohingegen die strichpunktierte Kurve 41 die Torsionsschwingung eines leicht gegen die Horizontale verkippten Nivellierungssensors zeigt.

Die wirksame Erdbeschleunigung, die vom Beschleunigungssensor erfaßt wird und die zum Beispiel bei dem in Fig. 2 dargestellten Beschleunigungssensor den Meßkörper 6 in Richtung des Trägers 4 elastisch verlagert, ist die Beschleunigungskomponente, die auf der Ebene des Trägers 4 senkrecht steht. Das heißt, wenn der Träger 4 exakt horizontal orientiert ist, ist er der vollen Erdbeschleunigung ausgesetzt, wohingegen bei einer Verkipfung um einen Winkel α aus der Horizontalen die effektiv erfaßte Beschleunigung mit dem Faktor $\cos\alpha$ abnimmt. Diese kosinusartige Abhängigkeit der erfaßten Beschleunigung von der Orientierung des Beschleunigungssensors ist in Teil b von Fig. 4 dargestellt. Aus der Kombination der Teile a, b der Figur kann man das vom Beschleunigungssensor gelieferte Meßsignal für die den Kurven 40 beziehungsweise 41 entsprechende Torsionsschwingung graphisch ermitteln. Das Ergebnis ist in Teil c gezeigt. Bei der Torsionsschwingung 40 bei exakt horizontaler Ausrichtung des Nivellierungssensors ist das Erfassungssignal des Beschleunigungssensors immer maximal, wenn die Kurve die Achse $d = 0$ schneidet. Das Erfassungssignal, dargestellt durch die Kurve 42, besteht aus der Überlagerung einer konstanten Komponente und einer Komponente mit der doppelten Frequenz der Torsionsschwingung, während die Komponente mit der einfachen Frequenz der Torsionsschwingung in diesem Fall gerade verschwindet.

Die Torsionsschwingung 42 bei gegen die Horizontale verkippter Orientierung liefert die Kurve 43 des Erfassungssignals. Diese Kurve enthält zusätzlich zu einem konstanten Signalanteil und einem Anteil bei der zweifachen Torsionsfrequenz einen Anteil mit der einfachen Torsionsfrequenz, dessen Stärke von der Fehlorientierung, das heißt von der Verkipfung des Sensors gegen die Horizontale, abhängt.

Eine Auswerteschaltung, die das Erfassungssignal empfängt, ist somit in der Lage, die exakt horizontale Orientierung des Nivellierungssensors zu erfassen, in dem sie das Erfassungssignal, zum Beispiel mit Hilfe eines schmalbandigen, auf die Torsionsfrequenz abgestimmten Filters spektral zerlegt und die exakt horizontale Orientierung des Nivellierungssensors dann erkennt, wenn der Spektralanteil mit der einfachen Torsionsfrequenz verschwindet. Die Auswerteschaltung kann alternativ auch diesen Punkt dadurch erkennen, dass die Komponente mit der doppelten Torsionsfrequenz gerade maximal ist.

Da ein Verschwinden des Spektralanteils mit der einfachen Torsionsfrequenz auch auf eine Störung des Nivellierungssensors zurückzuführen sein könnte, etwa ein Festklemmen des Trägers 4 aufgrund von mechanischer Beschädigung oder Eindringen einer Verunreinigung in die Öffnung 3, ist es zweckmäßig, wenn die Erfassungsschaltung überdies auch den Spektralanteil mit der doppelten Frequenz überwacht und nur dann die horizontale Orientierung des Nivellierungssensors erfaßt, wenn gleichzeitig die Spektralkomponente des Erfassungssignals mit der Torsionsfrequenz verschwindet und die Spektralkomponente mit der doppelten Torsionsfrequenz einen Grenzwert überschreitet.

Alternativ kann auch detektiert werden, ob die Komponente mit der doppelten Torsionsfrequenz gerade maximal ist.

Die Auswertung des vom Beschleunigungssensor der Fig. 3 gelieferten Meßsignals erfolgt in der gleichen Weise wie oben beschrieben, der wesentliche Unterschied liegt lediglich darin, dass bei dem Sensor aus Fig. 3 die Sensierichtung in der Ebene des Trägers 4, in Richtung des Doppelpfeils 35 liegt. Infolgedessen wird hier als Nullpunkt der Amplitude d die Orientierung des Trägers parallel zur Sensierichtung, also eine vertikale Orientierung des Trägers gewählt.

Man kann auch die um 90° gedrehte Orientierung des Nivellierungssensors daran erkennen, dass die Signalfrequenz mit der einfachen Torsionsfrequenz maximal ist und die mit der zweifachen Torsionsfrequenz verschwindet.

Patentansprüche

1. Nivellierungssensor (1) mit einem Beschleunigungssensor (4, 6, 30, 31) zum Erfassen einer Beschleunigung in einer als Sensierichtung bezeichneten Richtung, wobei der Beschleunigungssensor (4, 6, 30, 31) an einem um wenigstens eine Achse schwenkbaren Träger (4) angeordnet ist und einen relativ zu dem Träger (4) entsprechend dem Ausmaß der Beschleunigung verlagerbaren Messkörper (6) umfasst, und mit einem Rahmen (2) relativ zu dem Träger (4) um die Achse (5) elastisch schwingfähig aufgehängt ist, und an dem Mittel (23) zum Antreiben der Schwingbewegung des Trägers (4) angeordnet sind.
2. Nivellierungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rahmen (2) gemeinsam mit dem Träger (4) aus einem Halbleitersubstrat (10) gefertigt ist.
3. Nivellierungssensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Antreiben der Schwingbewegung zwei dem Träger (4) zugewandte Elektroden (23) sind.
4. Nivellierungssensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Rahmen (2) eine dem Träger (4) gegenüberliegende Rückwand (24) aufweist, an der die Elektroden (23) angeordnet sind.
5. Nivellierungssensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Antreiben der Schwingbewegung eine mit Strom beaufschlagbare Leiterschleife in einem Magnetfeld umfassen.
6. Nivellierungssensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Antreiben der Schwingbewegung einen elektrothermischen Antrieb mit in das Halbleitermaterial eingebrachten Heizwiderständen bilden.
7. Nivellierungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (4) mit dem Rahmen (2) durch zwei entlang der Achse verlaufende torsionselastische Arme (5) verbunden ist.
8. Nivellierungssensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Arme (5) Versorgungs- und/oder Signalleitungen des Beschleunigungssensors bilden und/oder tragen.
9. Nivellierungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkörper (6) eine seismische Masse bildet.
10. Nivellierungssensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschleunigungssensor ein Kondensatorelement umfaßt, dessen erste Platte durch eine Oberfläche des Trägers (4) gebildet ist und dessen zweite Platte durch eine Oberfläche des Meßkörpers

(6) gebildet ist.

11. Nivellierungssensor nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Masse des Meßkörpers (6) beiderseits einer Ebene verteilt ist, die durch die Achse und die Sensierrichtung aufgespannt ist. 5

12. Nivellierungssensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwerpunkt des Meßkörpers (6) auf der Achse liegt.

13. Nivellierungssensor nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkörper (31) in einem Fenster (36) des Trägers (4) aufgehängt ist.

14. Nivellierungssensor nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkörper (6) und der Träger (4) ineinandergreifende Kammstrukturen (30,31) aufweisen. 15

15. Nivellierungssensor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensierrichtung seines Beschleunigungssensors in der Ebene des Trägers (4) liegt. 20

16. Nivellierungssensor nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkörper (6) an dem Träger (4) durch elastische Federelemente (32) gehalten ist.

17. Nivellierungssensor nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschleunigungssensor ein Meßsignal liefert, das ein Maß für den Abstand zwischen Meßkörper (6) und Träger (4) ist, und daß das Meßsignal an eine Auswerteschaltung angeschlossen ist, die eine horizontale Ausrichtung des Nivellierungssensors erkennt, wenn der mit der Schwingfrequenz oszillierende Anteil im Meßsignal verschwindet. 25 30

18. Nivellierungssensor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung die horizontale Ausrichtung nur erkennt, wenn ferner ein mit der doppelten Schwingfrequenz oszillierender Anteil im Meßsignal enthalten ist. 35

19. Nivellierungssensor nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschleunigungssensor ein Meßsignal liefert, das ein Maß für den Abstand zwischen Meßkörper (6) und Träger (4) ist, und daß das Meßsignal an eine Auswerteschaltung angeschlossen ist, die eine horizontale Ausrichtung des Nivellierungssensors erkennt, wenn ein mit der doppelten Schwingfrequenz oszillierender Anteil im Meßsignal maximal ist. 40 45

20. Nivellierungssensor nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschleunigungssensor ein Meßsignal liefert, das ein Maß für den Abstand zwischen Meßkörper (6) und Träger (4) ist, und dass das Meßsignal an eine Auswerteschaltung angeschlossen ist, die eine vertikale Ausrichtung des Nivellierungssensors erkennt, wenn der mit der Schwingfrequenz oszillierende Anteil im Meßsignal maximal ist und/oder ein mit der doppelten Schwingfrequenz oszillierender Anteil im Meßsignal verschwindet. 50 55

21. Nivellierungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingfrequenz des Trägers (4) im Bereich 20 Hz bis 60 10 KHz, vorzugsweise 120 Hz bis 2 KHz liegt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

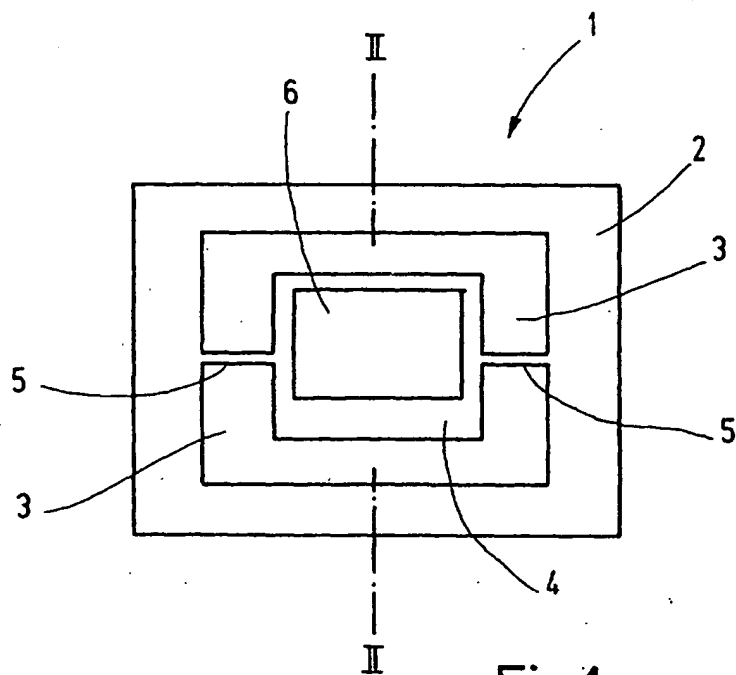


Fig.1

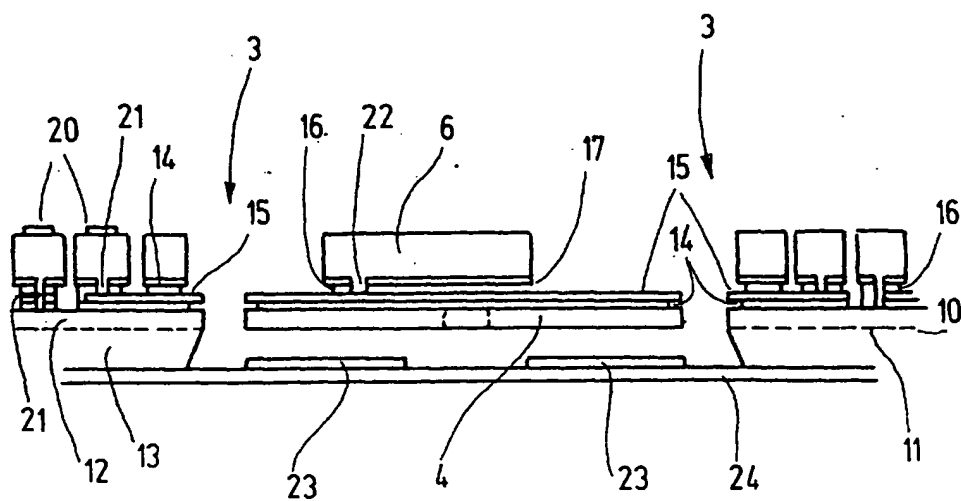


Fig.2

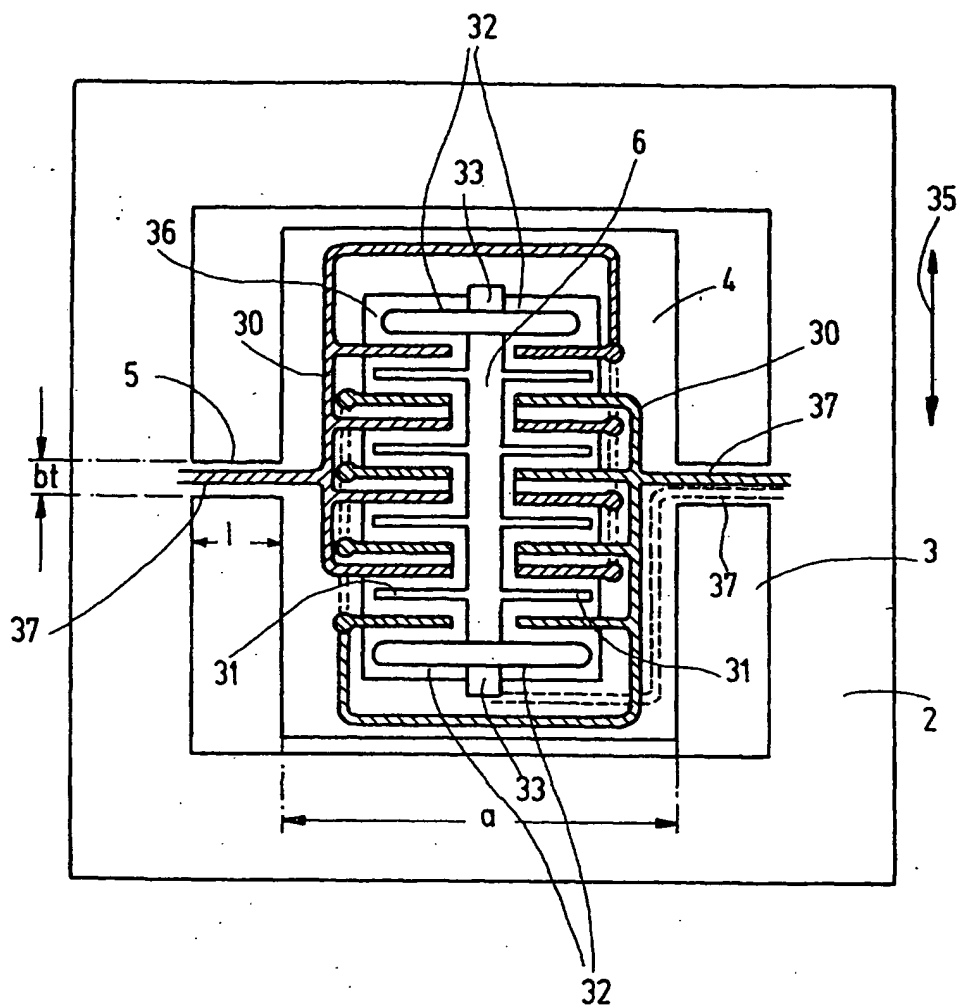


Fig.3

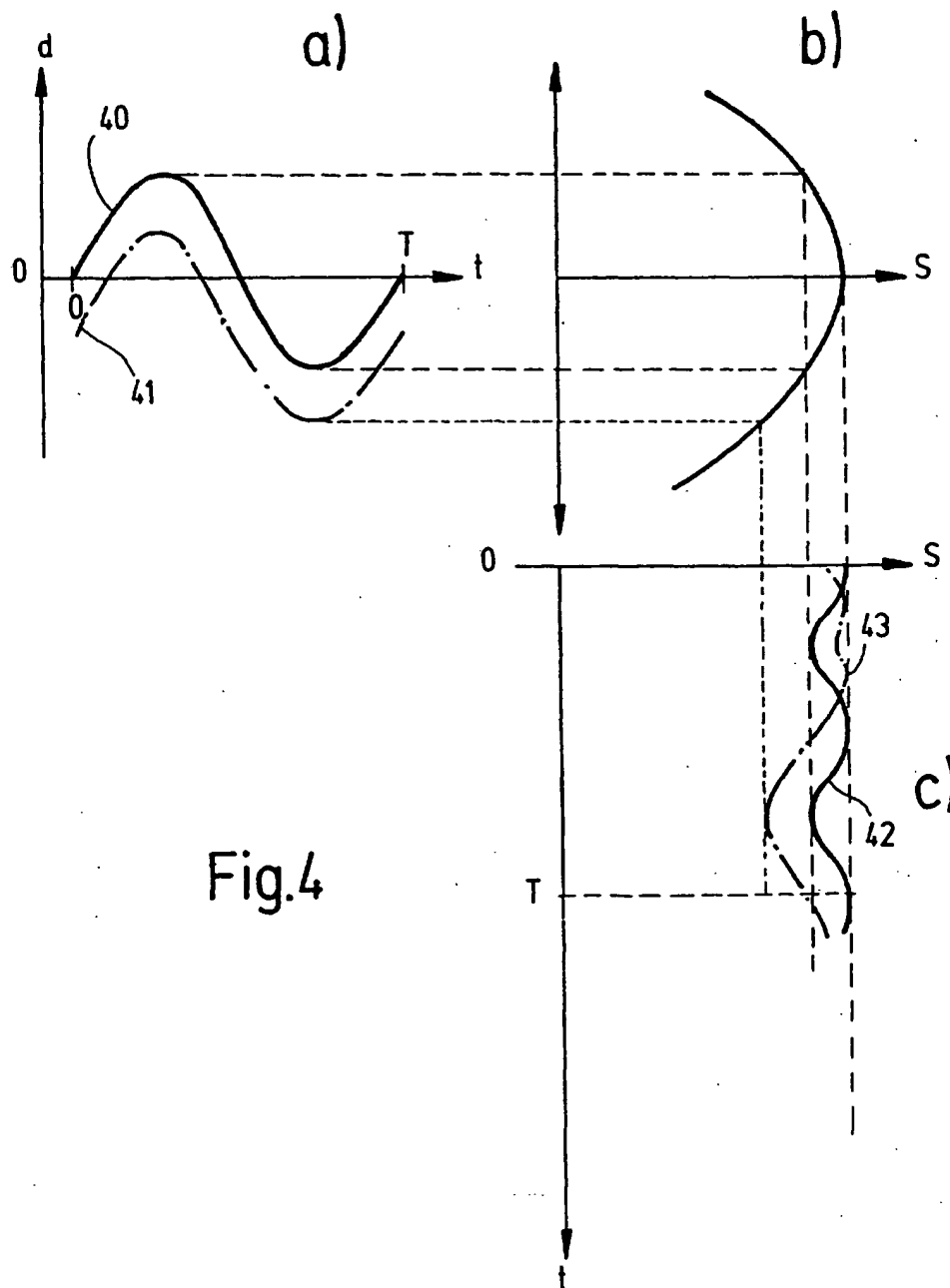


Fig.4